

EXPANSION DES DÉCHETS RADIOACTIFS ET DYNAMIQUE DES EAUX DE LA MÉDITERRANÉE

par Mario PICOTTI

L'accroissement remarquable et rapide de la production de l'énergie atomique a fait surgir le très préoccupant problème de l'élimination et de la neutralisation des produits secondaires radioactifs sous forme de solides, de liquides et de gaz. Le problème a été jugé si important et sérieux que, il y a un an, au mois de novembre, a eu lieu à Monaco Principauté, une conférence organisée par l'Agence internationale de l'énergie atomique de l'UNESCO, de concert avec la FAO (Organisation pour l'alimentation et l'agriculture). La participation de plus de 300 délégués, qui représentaient 11 organisations internationales et 32 pays, témoigne de l'importance de la Réunion que S.A.S. le Prince de Monaco a ouverte.

Il est opportun de rappeler ici les arguments traités, et qui restent, hélas, toujours d'actualité :

- 1) Nature des résidus radioactifs.
- 2) Traitement et transformation des déchets radioactifs.
- 3) Méthodes employées actuellement pour l'élimination des déchets.
- 4) Aspects administratifs et généraux de l'élimination des produits radioactifs.
- 5) Aspects biologiques du déversement des résidus radioactifs en mer.
- 6) Aspects physiques et chimiques du déversement des résidus en mer.
- 7) Discussion sur l'utilité et les inconvénients du déversement des déchets en mer.
- 8) Discussion sur les recherches à entreprendre en matière d'océanographie et de pêche en rapport avec l'élimination des déchets.
- 9) Considérations d'ordre général sur l'élimination des résidus du sol.
- 10) Discussion sur les avantages et les inconvénients de l'élimination des déchets radioactifs pour les structures géologiques.

A mon avis, entre les trois propositions suggérées, la plus rassurante pourrait être celle d'amasser les détritiques solides, de les renfermer hermétiquement dans des récipients métalliques ou en béton (qui sont plus lourds et plus difficiles à manier) ou, mieux encore, de les incorporer dans une pâte vitreuse — selon la proposition des délégués du Canada — et de les enterrer ensuite très profondément dans des galeries de mines abandonnées, mais non sans avoir effectué une étude préliminaire très soignée, qui puisse absolument exclure l'émersion en surface d'eaux circulant en profondeur.

L'activation radioactive des eaux circulant dans les réacteurs de puissance, et qui viennent d'être déversées dans le lit des fleuves, ou qui sont déchargées directement dans la mer, soulève aussi de graves préoccupations par leur volume notable. C'est pour cela que les eaux doivent être absolument et soigneusement soumises à un rigoureux traitement chimique épurateur et polyvalent pour les divers éléments radioactifs éliminés, ou bien encore il faudra soumettre ces eaux à l'action des résines échangeant des ions.

Pour les déchets gazeux, une épuration est aussi possible, mais c'est, hélas, inexécutable lorsqu'il s'agit d'explosions atomiques par lesquelles le nuage ou le « champignon » qui ont été formés s'élèvent et se répandent un peu partout, au hasard, dans l'atmosphère et la stratosphère, d'où le « fall-out » retombe, plus ou moins rapidement en survolant des continents entiers.

Les observations effectuées par les centres de contrôle sur la radioactivité de l'air et des précipitations atmosphériques ont donné, à présent, une information copieuse, qui confirme ce phénomène, dont l'intensité est heureusement remarquablement réduite dans ces derniers temps, 1960, ce qui fait penser qu'il n'y a pas eu récemment d'explosions atomiques très notables.

Comme on le sait, au mois d'octobre dernier, aurait dû avoir lieu, à 80 km environ d'Antibes, entre la Côte d'Azur et la Corse, dans une fosse présumée d'une profondeur de 2500 m, la décharge en mer de 6500 fûts métalliques, de 50 cm de hauteur, renfermant, en leur ensemble, environ 2000 tonnes de déchets (détritus) atomiques du centre français de Marcoule. L'immersion aurait dû commencer le 14 octobre, par une première expérience comportant la décharge de 10 fûts de plomb, supposés capables de résister à la pression et à la corrosion de l'eau de mer.

Les océanographes savent très bien quelle est l'importance de l'action corrosive de l'eau de mer, même pour les alliages les plus résistants, comme le bronze avec lequel sont forgés les appareils de recherches en mer. On connaît également bien la rapide augmentation de pression qui — à de grandes profondeurs — peut atteindre des centaines d'atmosphères; c'est pour cela que l'océanographe est sceptique sur la prétendue haute résistance des récipients et leur conservation illimitée. En conséquence, les préparatifs de l'immersion à Antibes ont ému toutes les municipalités de la Côte d'Azur et même après les assurances tranquillissantes du Haut Commissaire à l'Énergie atomique, les océanographes des Instituts océanographiques de cette région ont protesté promptement et très énergiquement. Le Commandant COUSTEAU, Directeur de l'Institut océanographique de Monaco, répondit sans hésitation aux techniciens du Commissariat qu'ils ne connaissaient pas tous les problèmes de la mer et n'avaient pas le droit d'affirmer que l'immersion des déchets radioactifs dans la Méditerranée ne présentait aucun danger de contamination de ses eaux. Et S.A.S. le Prince de Monaco, Président de la Commission internationale pour l'Exploration scientifique de la Mer méditerranée a demandé au Gouvernement français de différer cette opération de déversement.

Il faut bien remarquer que, de la Côte d'Azur, de la Riviera italienne et de la Mer tyrrhénienne, on possède aujourd'hui des cartes morphologiques du fond marin méditerranéen qui ont été tracées selon les systèmes les plus modernes et les plus précis par M. le Professeur BOURCART de la Sorbonne et le Professeur Aldo SEGRÉ de l'Université de Rome, en collaboration avec le Cap. de vaisseau E. DEBRAZZI, Directeur de l'Institut hydrographique de la Marine italienne de Gênes. D'après leurs études et leurs cartes soigneusement tracées on peut noter que le fond de notre mer répète très souvent et exactement l'orographie continentale, et que dans la zone dont nous nous occupons aujourd'hui, il n'existe pas une fosse ayant 2500 mètres de profondeur.

Le Haut-Commissaire à l'Énergie atomique a répondu aussi que les techniciens anglais ont déversé dans la Mer d'Irlande des déchets radioactifs en quantité cinq fois plus grande que celle des français, et que les déchets du laboratoire atomique de Saclay ont été déversés depuis longtemps dans le Rhône et la Seine sans avoir provoqué d'inconvénients, du moins jusqu'à ce jour.

En ce qui concerne l'introduction des détritus radioactifs, qui ne sont pas tout à fait exactement nommés par les Français *déchets* (Waste-radioactive selon les anglo-américains), il faut absolument faire bien cas surtout de deux phénomènes très importants :

a) Il n'y a pas dans la mer un endroit quelconque — même dans les plus grandes profondeurs — où l'eau soit absolument sans mouvement. Comme il a été récemment démontré, lors des études pour l'Année géophysique internationale, dans les plus profonds abîmes océaniques, jusqu'au-delà des 10000 m, il n'existe pas une immobilité absolue.

b) Il est bien connu par ailleurs, que dans les phénomènes d'accroissement et d'assimilation des organismes végétaux et animaux marins, outre les éléments chimiques fondamentaux, sont assimilés aussi les micro-éléments ou éléments oligodynamiques, qui, quelquefois, sont aussi indispensables, comme par exemple le cuivre, pour quelques mollusques et le vanadium pour les tuniciers.

En ce qui concerne le premier point, et précisément le mouvement de l'eau marine à une profondeur importante, les facteurs principaux de diffusion sont constitués par les courants de marée, courants de densité permanents, mouvements de convection, phénomènes de turbulence, etc., facteurs qui sont tout particulièrement notables dans une mer fermée comme la Méditerranée. Les recherches thalassographiques démontrent avec évidence que les eaux méditerranéennes se déplacent et se mélangent dans les trois dimensions, parfois même avec des vitesses remarquables, comme il a été démontré nettement dans les mesures effectuées par le Prof. VERCELLI et moi-même dans le détroit de Messine. Dans ce détroit, l'échange d'eau mutuel et périodique entre la Mer tyrrhénienne et la Mer ionienne atteint, à des moments déterminés par la position des astres la vitesse de 5 nœuds.

D'après le compte-rendu de la croisière danoise du « Thor », nous pouvons relever la multiplicité des courants de surface et de profondeur, décrite par NIELSEN, éminent océanographe, qui a participé à cette croisière.

WÜST, dans sa récente étude sur la circulation, dans la Méditerranée, de masses d'eau à diverses profondeurs, en utilisant les données d'autres chercheurs océanographes, signale le déplacement d'une masse d'eau dans une couche intermédiaire correspondant à un maximum de salinité et, le plus souvent, en direction est-ouest.

Dans la période presque triennale de l'A.G.I. ont été effectuées, comme on le sait déjà, plusieurs recherches océanographiques dans la Mer tyrrhénienne, le canal de Sicile, l'Adriatique, la Mer ionienne et au cours de la dernière croisière, l'été dernier, dans la Méditerranée centrale, entre le cap Matapan et les îles de Crète et Malte.

Pendant cette dernière croisière ont été effectuées des mesures à de grandes profondeurs, certaines presque de 5000 m.

Les recherches dans le bas Adriatique, avaient mis en évidence que des masses d'eau ionienne entraînent dans la Mer adriatique, le long des côtes orientales, jusqu'au golfe de Trieste. Un courant inverse, profondément modifié par les déversements fluviaux de l'embouchure du Pô et des autres fleuves, s'écoule, au contraire, le long de la côte italienne, et ses caractéristiques chimiques sont évidemment à relever non seulement dans les eaux qui passent à travers le canal d'Otrante — à l'ouest — mais même le long de la côte de la Calabre, jusqu'au capo dell'Armi.

Les données de température et de salinité recueillies aux diverses profondeurs aux stations effectuées le long des parcours des croisières, ont démontré l'existence de masses d'eaux différentes, qui, dans la Mer ionienne — aux limites de la Mer Egée dans la partie inférieure de la Mer tyrrhénienne et du canal de Sicile — se déplacent en direction est-ouest. On a trouvé aussi, dans une couche intermédiaire, des masses d'eau en surface provenant de l'Atlantique ce qui avait déjà été remarqué au cours des croisières précédentes.

Récemment, en relation avec les mesures recueillies, on a évalué à 67 cm le déficit d'eau, dû à l'intense évaporation méditerranéenne par effet des vents chauds méridionaux, qui n'est pas suffisamment compensée par les apports fluviaux. La compensation se fait à travers Gibraltar par la masse d'eau superficielle, qui y entre, et, en sens inverse par le courant de profondeur, qui déverse les eaux denses méditerranéennes dans les abîmes atlantiques où elles s'épanouissent en forme d'éventail intéressant les côtes espagnoles et africaines, environ jusqu'aux îles Canaries.

Dans ce court exposé, je désire démontrer que, selon moi, il est faux de penser qu'un déversement quelconque, même effectué en profondeur, demeure localisé et qu'il ne se répandra pas dans tout le bassin. La surface de la Méditerranée, étant d'environ 3000000 de km², ceci donne pour une profondeur moyenne de 1400 m, un volume égal à 4200000 km³ soit 4.2×10^{18} l.

Une molécule-gramme, quelle qu'elle soit, dissoute et dispersée d'une manière uniforme dans le bassin, aurait une concentration de 143 molécules par cm³.

Ce calcul simple peut donner une idée du péril d'une diffusion des produits radioactifs

éventuels dans l'eau de mer. On peut remarquer encore que, selon les règles de l'Euratom, la limite maxima admise pour la décharge externe, doit être de 10^3 millicurie par cm^3 .

c) En ce qui concerne les phénomènes de l'assimilation des éléments principaux — les sels nutritifs (sels ammoniacaux, nitrates, nitrites, phosphates et silicates) et surtout les oligo-éléments — les organismes marins assimilent et accumulent parfois des concentrations également très importantes. Cette accumulation se forme par les phénomènes de « Ad » et « Absorption » biologique, ingénierie alimentaire (les divers circuits alimentaires), relations symbiotiques, migrations, etc...

L'eau marine, comme nous le savons bien, est une solution très complexe et qui contient certainement tous les éléments; déjà $2/3$ d'entre eux ont été trouvés par des méthodes chimiques ou physico-chimiques, et si le dernier tiers n'a pas été trouvé directement, cela est dû certainement à nos méthodes de recherche qui ne sont pas encore suffisamment sensibles.

Pour un grand nombre d'éléments, nous sommes aidés par les organismes végétaux et animaux qui concentrent quelques oligoéléments en quantités qui peuvent être concentrées 1000 fois et plus dans un seul individu, que dans le milieu où il se trouve. Les nombreuses recherches à ce propos ont été exécutées directement sur la matière vivante ou sèche et quelquefois sur leurs cendres.

Dans la composition chimique moyenne des algues marines, on trouve les éléments : H, O, C, N, Na, K, Ca, Mg, Cl, S, P, I, Br, As, Si, Al, Mn, Fe.

Par l'analyse spectrographique des cendres, on a trouvé aussi : Cu, Zn, Ti, Pb, Mo, Sn, Co, Ni, Hg, Ag, Au, V, Cr, B, Bi, Sb, W, Ga, Ge, Cd, Be, Pr, Nd, Sm, Ce, La, Y, Rb, Cs, Li, Sr, Ba, Tl, F.

Pour la série radioactive, la concentration de radium, thorium et mesothorium, déterminée sur la substance sèche a été de l'ordre de : 10^{13} à 10^{12} %.

Il est remarquable que dans les études de l'école viennoise sur les algues qui se trouvent dans les lacs du Salzbourg et la haute Autriche, dans des bassins à roches radioactives, dont les eaux contiennent naturellement du radium, on a relevé, dans quelques algues une concentration radioactive jusqu'à 1750 fois plus grande que celle de leur milieu environnant.

Les oligoéléments sont assimilés et concentrés aussi par des animaux marins depuis le nannoplancton jusqu'aux poissons et aux cétacés. Dans ce cas, outre les éléments constitutifs ordinaires (O, C, H, N, Ca, Si, Al, Cl, Br, I, Mg, S, P, etc.) on a pu déterminer spectroscopiquement d'autres éléments et particulièrement : Ti, V, Cr, Mo, Mn, Fe, Co, Ni, Cu, Ag, Au, Zn, Cd, Ga, Ge, Sn, Pb, As, Sb, Bi, Y, Th, Rb, Cs, B, F, Sr, Zr, Li, Nb.

Dans quelques poissons on a trouvé une concentration en radium supérieure à celle de l'eau marine qui les entoure.

Quelques très intéressantes recherches biochimiques effectuées à l'Atoll de Eniwetok, ont montré à quelle vitesse les produits fixés sont assimilés et concentrés par le plancton; quatre jours après la contamination radioactive, on a pu déjà relever les isotopes : ^{239}Np , ^{99}Mo , ^{99}Tc , ^{132}Ta , ^{132}J , ^{140}Ba , $^{141,144}\text{Ce}$, $^{141,144}\text{Pr}$, $^{103,105,106}\text{Ru}$, $^{103,105,106}\text{Rh}$, et en contenu moindre, les concentrations : $^{89,90,91}\text{Sr}$, $^{90,91,93}\text{Y}$, $^{131,133,135}\text{J}$, $^{133,135}\text{Xe}$, ^{147}Nd , $^{147,149}\text{Pm}$. Six semaines après la contamination, la radioactivité du plancton était dûe, pour 29%, aux isotopes : ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{106}Ru , ^{106}Rh , ^{144}Ce , ^{144}Pr et pour 71 % : ^{65}Zn , $^{57,58,60}\text{Co}$, ^{55}Fe , ^{54}Mn , avec une augmentation remarquable dans les pourcentages du cobalt, du zinc et du fer. En mesurant la concentration du Mn^{54} dans le foie des poissons, on a trouvé qu'elle était plus grande encore dans la musculature, ce qui est d'une signification très importante pour l'alimentation humaine (souvenons-nous des thons radioactifs de l'Océan pacifique!)

J'espère que cette synthèse du problème important des concentrations biologiques en rapport avec la série oligodynamique contribue à éclairer le péril d'une contamination radioactive des eaux marines.

Récemment, un nouveau problème a surgi à cause d'un nouveau péril : la contamination marine qui résulte de la navigation par propulsion nucléaire, problème qui a été étudié très soigneusement par l'Académie des Sciences des États-Unis, d'après les expériences faites avec le sous-marin « Nautilus » et le navire « Savannah ».

La Commission des Études de cette académie a jugé nécessaire de devoir contrôler tous les isotopes pour une demi-période de temps supérieure à six heures, en déterminant l'index ppc (partial permissible concentration) fixé par cm^3 de chargement et en relation avec le temps de déchargement journalier et mensuel, dans sa totalité. Les deux bateaux américains sont munis d'épurateurs à résines avec échange mutuel des ions, qui s'épuisent en 50 jours de fonctionnement, avec un contenu total de 2900 curies, qui sont dus aux isotopes : ^{51}Cr , ^{60}Co , $^{55,59}\text{Fe}$, ^{182}Ta , ^{64}Cu , ^{65}Zn , ^{137}Cs , ^{90}Sr , ^{95}Zr , ^{95}Nb , ^{106}Ru , ^{144}Ce , ^{131}I .

CONCLUSION

Une éventuelle immersion — qui n'est pas à conseiller mais, au contraire, à éviter — de déchets radioactifs en mer, doit être absolument soumise à une soigneuse et très précise connaissance des conditions thalassographiques caractéristiques de la zone choisie, de la concentration minima et maxima qualitative et quantitative du spectre total des radiations qui pourraient se diffuser directement ou indirectement à travers les divers cycles alimentaires, et toujours en considération des dangers dans l'alimentation des hommes.

En tout cas, les zones côtières et celles au large de la côte ayant une considérable productivité de pêche, doivent être exclues spécifiquement et rester toujours isolées et éloignées de toute contamination radioactive possible. Il sera opportun aussi que les recherches sur la détermination du rapport entre l'intensité de la radiation ambiante et celle absorbée par un organisme vivant soient fortement poursuivies sur les diverses espèces végétales et animales.

Les techniciens qui veillent particulièrement sur les réacteurs nucléaires, doivent toujours penser qu'une mesure instantanée, ou même périodique, de la concentration radioactive ambiante, ne représente pas une garantie suffisante de protection si la mesure n'est pas accompagnée des contrôles de l'accumulation qualitative et quantitative des divers radioisotopes dans les organismes vivant dans la zone de décharge des déchets, qu'ils soient liquides ou solides. Tout cela, comme on l'a déjà bien remarqué, toujours en relation avec l'alimentation.

Le Comité océanographique U.S.A. a demandé que sa flotte hydro-thalassographique, qui compte actuellement 45 navires, soit doublée pour rendre (comme on le lit dans leurs rapports) « les Océans transparents à toutes actions destinées à aider la paix, la sécurité et les communications. »

Cet exposé constitue un appel à la prudence et rejoint la thèse déjà soutenue par M. le Président de la Commission de la Méditerranée et par d'éminents Collègues français, qui se sont opposés énergiquement aux programmes de déversement en mer des déchets des centrales nucléaires. Nous cherchons autant que possible à préserver notre mer du danger d'une contamination, qui, si elle avait lieu, ne pourrait conduire qu'à une désolation inutile du berceau de notre civilisation, cette Méditerranée que les progrès de cette civilisation même priveraient de vie.

RÉSUMÉ

A la suite d'une soigneuse considération sur le problème de l'élimination des déchets radioactifs solides et liquides on présente les dangers de leur immersion directe en mer, fusse dans des récipients métalliques ou de béton, fusse même par les décharges dans les fleuves. La dynamique des eaux marines répandrait, sans doute, le matériel radioactif — plus ou moins rapidement — dans des zones très éloignées du centre de déversement.

Un niveau d'intensité radioactive éventuellement bas ne donne pas une garantie suffisante de sécurité, parce que les organismes marins, qui sont presque toujours sélecteurs des oligoéléments, assimilent rapidement, dans leur tissu même, les radioisotopes, en augmentant leur concentration. Cela constitue évidemment un très grand péril pour l'alimentation humaine parce que, à travers les divers cycles de l'habitat biologique marin, les isotopes radioactifs, assimilés par le plancton, passent ensuite dans la musculature des êtres marins et en conséquence ils arrivent, par l'alimentation, aux hommes.

C'est aussi à cause de ce péril qu'on doit envisager très soigneusement ce nouveau et sérieux problème.

SUMMARY

Following a preliminary stating on the problem of the elimination of solid and liquid radioactive wastes, we here point out the danger represented by their direct immersion into the sea, say using metallic or beton containers, say through fluvial discharges. The dynamism of sea-waters would, less or more rapidly, carry the radioactive wastes also to zones very far from the discharge centers.

A possible low level of the intensity of radiation does not give sufficient guarantee of safety, because the marine organisms — almost always selectors of oligoelements — rapidly assimilate in their tissues also the radioisotopes, thus augmenting the concentration. This represents a serious danger for the human alimentation, because through the various cycles of the marine biological habitat the radioactive isotopes, initially assimilated by the plankton, may go into the musculature of the fishes and through them into man. For this reason we must considere very attentively the danger represented by the immersion into the sea of radioactive wastes.
